CALCUL AUTOMATIQUE DE LA PROTECTION DIFFERENTIELLE LONGITUDINALE D'UN TRANSFORMATEUR A ENROULEMENT TERTIAIRE

CALCULUL AUTOMAT AL PROTECȚIEI DIFERENȚIALE LONGITUDINALE A UNUI TRANSFORMATOR CU TREI ÎNFĂŞURĂRI

Silvia-Maria DIGĂ **Cristian BRATU**
Universitatea din Craiova, Facultatea de Electrotehnică, România
Bulevardul Decebal, nr.107(5), Craiova, Dolj, 1100 (200440)
Tel./Fax: +40 (0)251 436447; E-mail: sdiga@elth.ucv.ro; sdiga2002@yahoo.fr

Rezumat*: La transformatoare, principiul de realizare al protecției diferențiale longitudinale este acelaşi ca şi la generatoare existând însă o serie de particularități specifice. Acestea se referă la compensarea inegalității şi a defazajului curenților primari de la capetele zonei protejate,problema şocului de curent de magnetizare (apărut la restabilirea tensiunii după lichidarea unui scurtcircuit exterior sau la conectarea sub tensiune a transformatorului protejat), problema curenților de dezechilibru I_{dez} care au mai multe componente (I_{dezTC} - au mai multe componente (I_{dezTC} - provocată de neidentitatea caracteristicilor magnetice ale transformatoarelor de curent, I_{dezeg} - cauzată fie de absența egalizării curenților secundari,fie de egalizarea imperfectă a acestora, I_{dezmT} - provocată de curentul de magnetizare al transformatorului protejat, I_{dezreg} - care are o valoare substanțială în cazul în care transformatorul protejat este prevăzut cu dispozitiv de reglare sub sarcină a tensiunii).Pentru a trata problema cât mai complet,în această lucrare,autorii analizează cazul reglării releelor diferențiale pentru protecția unui transformator cu trei înfăşurări,având surse la toate cele trei tensiuni.Astfel,se indică etapele succesive ale stabilirii reglajului protecției diferențiale prin relee de tip RDS,pentru cazul general menționat. Acestea sunt :stabilirea înfăşurării transformatorului căreia i se va afecta înfăşurarea de frânare,determinarea numărului de spire ale înfăşurărilor de lucru,de egalizare şi de frânare, verificarea sensibilității protecției reglate(în prezența sau absența frânării). Pe baza acestui algoritm, s-a întocmit un program de calcul dezvoltat în limbajul de programare Visual C++6.0, care permite determinarea şi afişarea principalilor parametri de calcul ai protecției diferențiale a unui transformator coborâtor de tensiune,cu trei înfăşurări,dintr-o stație de transformare.*

Keywords: *protecție diferențială longitudinală, transformator cu trei înfăşurări.*

1. Introducere

Se analizează cazul reglării releelor RDS în schema cu trei relee, pentru protecția unui transformator cu trei înfăşurări, având surse la toate cele trei tensiuni. Cazurile particulare, ale existenței surselor la una sau două dintre cele trei tensiuni, sau ale transformatoarelor cu două

Résumé *:Aux transformateurs,le principe de réalisation de la protection différentielle longitudinale est le même comme aux génératrices,en existant pourtant des particularités spécifiques. Celles-ci se réfèrent à la compensation de l'inégalité et du déphasage des courants primaires des bouts de la zone protégée, le problème du choc de courant d'aimantation(apparu au rétablissement de la tension après la liquidation d'un court-circit extérieur ou à la connexion sous tension du transformateur protégé) le problème des courants de déséquilibre I_{dez} qui ont plusieures composantes (I_{dezTC} - provoquée par la différence entre les caractéristiques magnétiques des transformateurs de courant, I_{dezreg} - produite soit par l'absence de l'égalisation des courants secondaires, soit par l'égalisation imparfaite de ceux-ci, I_{dezmT} - provoquée par le courant d'aimantation du transformateur protégé, I_{dezreg} - qui a une grande valeur dans le cas du transformateur protégé à prises). Pour traiter plus complètement ce problème,dans ce travailr, les auteurs analysent le cas du reglage des relais diffé-rentiels pour la protection d'un transformateur à enroulement tertiaire,ayant des sources à toutes les trois tensions.Ainsi, on indique les étapes succesives de l'etablissemen du reglage de la protection différentielle par des relais type RDS, pour le cas géné-ral mentionné. Celles-ci sont :etablissement de l'enroulement du transformateur auquel on affectera l'enroulement de freinage, calcul du nombre de spires des enroulements de travail, d'éga-lisation et de freinage, vérification de la sensibilité de la protec-tion réglée(en présence ou en absence du freinage). Sur la base de cet algorithme,on a elaboré un programme de calcul développé dans le langage de programmation Visual C++ 6.0, qui permet le calcul et l'affichage des principaux paramètres de calcul de la protection différentielle d'un transformateur abaisseur de tension,à enroulement tertiaire, d'une station de transformation.*

Keywords: *protection différentielle longitudinale,transformateur à enroulement tertiaire*.

1. Introduction

On analyse le cas du réglage des relais RDS dans le schèma avec trois relais,pour la protection d'un transformateur à enroulement tertiaire,ayant des sources à toutes les trois tensions. Les cas particuliers,de l'existence des sources à l'un ou deux de trois tensions, ou des transformateurs à

înfăşurări, se vor putea deduce uşor prin simplificare din cazul complet.

Releele RDS se caracterizează prin existenţa unei înfăşurări de frânare a transformatorului cu saturaţie rapidă al releului, cu caracteristica de frânare [1]:

$$(Iw)_l = F[(Iw)_f] \quad (1)$$

unde:

$(Iw)_l$ -solenaţia înfăşurării de lucru ;

$(Iw)_f$ - solenaţia înfăşurării de frânare.

Funcţia (1) nu este liniară şi ea constă de fapt dintr-o familie de curbe, cu parametrii depinzând de defazajul dintre curentul prin bobina de lucru I_l şi curentul prin bobina de frânare I_f . Curbele li-mită ale familiei de funcţii (1), pentru releele RDS, sunt indicate în fig.1.

deux enroulements,pourront être déduits facilement par simplification du cas complet.

Les relais RDS se caractérisent par l'existence d'un enroulement de freinage du transformateur à saturation rapide du relais,avec la caractéristique de freinage [1]:

$$(Iw)_l = F[(Iw)_f] \quad (1)$$

ou :

$(Iw)_l$ - solénation de l'enroulement de travail ;

$(Iw)_f$ - solénation de l'enroulement de freinage.

La fonction (1) n'est pas linéaire et elle consiste d'une famille de courbes,avec des paramètres qui dépendent de déphasage entre le courant par la bobine de travail I_l et celui par celle de freinage I_f . Les curbes limite de la famille des fonctions (1), pour les relais RDS, sont indiquées dans la fig. 1.

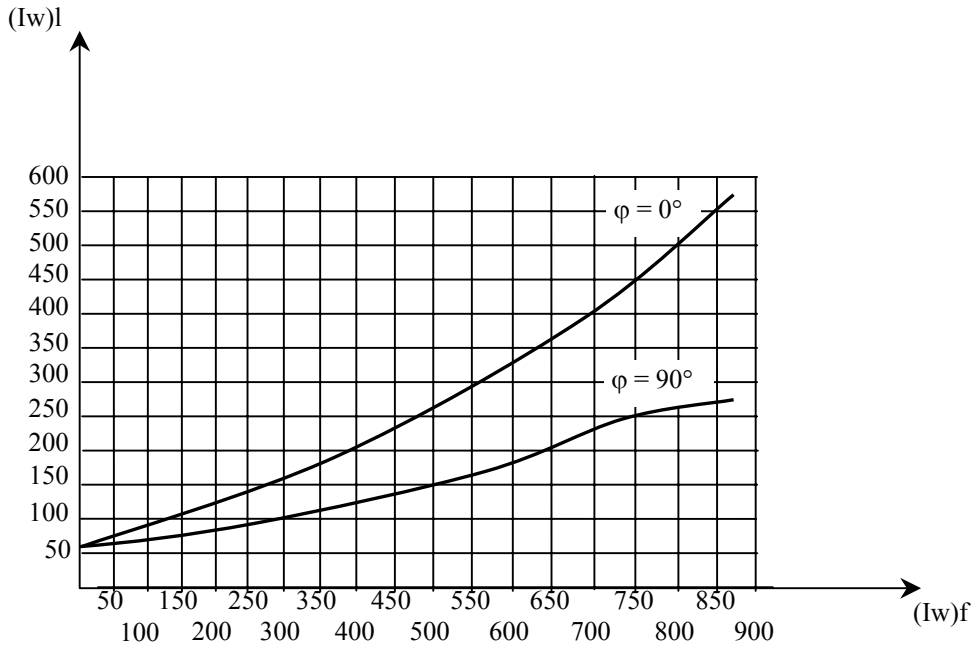

Fig.1. Caracteristica $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$ a releului RDS

Fig.1. La caractéristique $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$ du relais RDS

2. Stabilirea reglajului protecţiei diferenţiale prin relee RDS pentru cazul general

2.1. Stabilirea înfăşurării transformatorului căreia i se va afecta înfăşurarea de frânare

Se stabilesc curenţii primari ai transformatorului în cele trei înfăşurări, corespunzători prizei medii a comutatorului de ploturi şi puterii aparente nominale a înfăşurărilor de 100 %, chiar dacă una din înfăşurări are prin fabricaţie o putere redusă. Apoi, în funcţie de raportul de transformare al fiecărui grup de transformatoare de curent al celor trei înfăşurări, de conexiunile primare ale înfăşurărilor transformatorului şi de conexiunea corespunzătoare a transformatoarelor de curent(Y sau Δ,după cum înfăşurarea primară respectivă are conexiunea Δ sau Y),se determină curenţii secundari corespunzători celor trei înfăşurări,conform tabelului 1.

2. Etablissement du réglage de la protection différentielle par relais RDS en cas général

2.1. Etabissement de l'enroulement du transformateur auquel on affectera l'enroulement de freinage

On établit les courants primaires du transformateur dans les trois enroulements,correspondants à la prise moyenne du commutateur à plots et à la puissance apparente nominale des enroulements de 100%,même si l'un d'enroulements a par fabrication une puissance réduite. Puis, en fonction du rapport de transformation du chaque groupe de transformateurs de courant des trois enroulements, de connexions primaires des enroulements du transformateur et de la connexion correspondante des transformateurs de courant (Y ou Δ, si l'enroulement primaire respectif est en connexion Δ ou Y), on détermine les courants secondaires correspondants aux trois enroulements, conformément au tableau 1.

Tabelul 1. Calculul curenților secundari în circuitele de protecție

Tableau 1.Calcul des courants secondaires dans les circuits de protection

Grandeur	Haute tension	Moyenne tension	Basse tension
Courants primaires dans les enroulements du transformateur protégé	$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3U_{Ms1}}}$ (2)	$I_2 = \frac{S_n}{\sqrt{3U_{Ms2}}}$ (3)	$I_3 = \frac{S_n}{\sqrt{3U_{Ms3}}}$ (4)
Rapports de transformation des transformateurs de courant	$n_{T1} = \frac{I_{p1}}{I_s}$ (5)	$n_{T2} = \frac{I_{p2}}{I_s}$ (6)	$n_{T3} = \frac{I_{p3}}{I_s}$ (7)
Connexions du transformateur protégé	Y	Y	Δ
Connexions des transformateurs de courant	Δ	Δ	Y
Courants secondaires dans les circuits de protection	$i_1 = \frac{I_1\sqrt{3}}{n_{T1}}$ (8)	$i_2 = \frac{I_2\sqrt{3}}{n_{T2}}$ (9)	$i_3 = \frac{I_3}{n_{T3}}$ (10)

unde:

S_n - puterea aparentă nominală a transformatorului;

$U_{Ms1}, U_{Ms2}, U_{Ms3}$ - tensiunile maxime de serviciu ale înfăşurărilor;

I_{p1}, I_{p2}, I_{p3} - curenții primari nominali ai transformatoarelor de curent;

I_s -curentul secundar nominal al transformatoarelor de curent (5A).

Se determină apoi,curenții secundari de dezechilibru care apar în înfăşurarea de lucru în cazul unui scurtcircuit exterior trifazat metalic la bornele transformatorului, în condițiile în care înfăşurarea primară căreia îi este afectată înfăşurarea de frânare a releului are întreruptorul respectiv deschis,iar la celelalte înfăşurări sunt racordate maximum de surse.În funcție de curenții de dezechilibru obținuți se calculează curentii de pornire ai protectiei.

Se observă că în cazul afectării înfăşurării de frânare a releului unei anumite înfăşurări primare, de exemplu înfăşurării de JT, aceasta fiind deconectată în conformitate cu premisele de calcul stabilite,vor fi posibile două valori ale curentului de scurtcircuit: una pentru un scurtcircuit la bornele de IT şi una pentru un scurtcircuit la bornele de MT ale transformatorului.Implicit vor fi posibile două valori ale curentului de pornire al protecției în înfăşurarea de lucru a releului.Repetându-se acest raționament pentru cazul afectării înfăşurării de frânare a releului,înfăşurării de IT şi apoi celei de MT, se obțin trei grupe de câte două valori pentru curentul de pornire al protecției.Se alege apoi grupa care are cei mai mici curenti de pornire ai protecției. Înfăşurarea transformatorului căreia îi corespunde această grupă de valori reprezintă înfăşurarea căreia i se va afecta bobina de frânare a releului.În acest fel în cazul întreruperii acestei înfăşurări sau a circuitului secundar respectiv,un eventual scurtcircuit exterior conduce la cel mai mic curent minim de pornire al protecției, deci se asigură sensibilitatea acesteia.

Calculul curenților de pornire ai protecției se face neglijându-se eroarea cauzată de imposibilitatea fixării exacte la valoarea necesară a numărului de spire ale înfăşurărilor de egalizare, care au un reglaj discontinuu prin ploturi.

În aceste condiții de aproximare,curentul primar de pornire al protecției este cel mai mare dintre curenții I'_{pp} determinat de erorile cauzate de transformatoarele de curent şi de comutatoarele de ploturi, şi I''_{pp} cauzat de şocul de magnetizare.

ou:

S_n - puissance apparente nominale du transformateur;

$U_{Ms1}, U_{Ms2}, U_{Ms3}$ - tensions maximales de service des enroulements;

I_{p1}, I_{p2}, I_{p3} - courants primaires nominaux des transformateurs de courant;

I_s - courant secondaire nominal des transformateurs de courant (5A).

On détermine puis,les courants secondaires de déséquilibre qui apparaissent dans l'enroulement de travail dans le cas d'un court-circuit extérieur triphasé métallique aux bornes du transformateur,dans les conditions quand l'enroulement primaire auquel est affecté l'enroulement de freinage du relais, a son disjoncteur ouvert, mais aux autres enroulements sont raccordées maximum de sources. En fonction de courants de déséquilibre calculé les courants de mise en marche de la protection.

On observe que dans le cas de la destination de l'enroulement de freinage du relais à un tel enroulement primaire, par exemple à l'enroulement de basse tension,celui-ci étant déconnecté conformément avec les prémisses de calcul établites, seront possibles deux valeurs du courant de court-circuit: une pour un court-circuit aux bornes de haute tension et une pour un court-circuit aux bornes de moyenne tension du transformateur. Implicitement seront possibles deux valeurs du courant de mise en marche de la protection dans l'enroulement de travail du relais. En répé-tant ce raisonnement pour le cas de la destination de l'enroulement de freinage du relais,à l'enroulement de haute tension puis à celui de moyenne tension,on obtient trois groupes de deux valeurs chacun, pour le courant de mise en marche de la protection. On choisit puis le groupe qui a les plus petits courants de mise en marche de la protection. L'enroulement du transformateur auquel correspond ce groupe de valeur représente l'enroulement auquel on affec-tera la bobine de freinage du relais. Dans le cas de l'interruption de cet enroulement ou du circuit secondaire respectif, un éventuel court-circuit extérieur conduit au plus petit courant minimal de mise en marche de la protection, donc on assure la sensibilité de celle-ci.

Le calcul des courants de mise en marche de la protection est fait en néglijeant l'erreur provoquée par l'impossibilité de la fixation exacte à la valeur nécessaire du nombre de spires des enroulements d'égalisation,qui ont un réglage discontinu par plots. Dans ces conditions d'approximation, le courant primaire de mise en marche de la protection est le plus fort d'entre les courants I'_{pp} déterminé par les erreurs provoquées par les transformateurs de courant et les commutateurs à plots, et I''_{pp} provoqué par le choc d'aimantation.

$$I'_{pp} = k_n (k_{ap} f_i I_{sc\max} + \Delta U_\alpha I_{\alpha\ sc\max} + \Delta U_\beta I_{\beta\ sc\max}) \quad (11)$$

unde:

k_n - coeficient de siguranță (k_n =1,5);

k_{ap} - coeficient ce ține seama de eroarea cauzată de componenta aperiodică (releul RDS având transformator cu saturație rapidă , se ia k_{ap} =1) ;

f_i - coeficient ce ține seama de eroarea maximă a transformatoarelor de curent,care se ia de 10% (f_i =0,1);

$I_{sc\max}$ - se calculează în condițiile menționate mai sus, prin metoda unităților absolute sau relative [2];

ΔU_α , ΔU_β - valoarea procentuală a semiplajei de reglare, cu ajutorul comutatoarelor de ploturi,a tensiunii înfășurărilor α şi β pe care există comutator;

$I_{\alpha\ sc\max}$, $I_{\beta\ sc\max}$ - valorile curentului de scurtcircuit în înfăşurările α şi β ,calculate în aceleaşi condiții ca $I_{sc\max}$.

$$I''_{pp} = kI_{nom} \quad (12)$$

unde:

k - coeficient de siguranță (k = 1,2…1,5).

2.2. Determinarea numărului de spire ale înfăşurărilor de lucru şi de egalizare

Înfăşurarea căreia îi corespunde cel mai mare curent secundar din circuitul protecției, conform tabelului 1, devine înfăşurarea de bază, căreia i se afectează fără intermediar bobina de lucru a releului. Calculul se face conform tab. 2.

$$I'_{pp} = k_n (k_{ap} f_i I_{sc\max} + \Delta U_\alpha I_{\alpha\ sc\max} + \Delta U_\beta I_{\beta\ sc\max}) \quad (11)$$

ou: k_n = coéfficient de sûreté (k_n =1,5);

k_{ap} - coéfficient qui tient compte de l'erreur provoquée par la composante apériodique(le relais RDS ayant transformateur à saturation rapide,on prend k_{ap} =1) ;

f_i - coéfficient qui tient compte de l'erreur maximale des transformateurs de courant,qui est pris 10% (f_i =0,1) ;

$I_{sc\max}$ - est calculé dans les conditions mentionnées au-dessus, par la méthode des unites absolues ou relatives [2];

ΔU_α , ΔU_β - la valeur en pour-cent de la demie-plage de réglage,à l'aide du commutateur à plots,de la tension des enroulements α et β sur lesquels existe celui-ci ;

$I_{\alpha\ sc\max}$, $I_{\beta\ sc\max}$ - les valeurs du courant de court-circuit dans les enroulements α et β ,calculées dans les mêmes conditions comme $I_{sc\max}$.

$$I''_{pp} = kI_{nom} \quad (12)$$

ou: k - coéfficient de sûreté (k = 1,2…1,5).

2.2. Calcul du nombre de spires des enroulements de travail et d'égalisation

L'enroulement auquel correspond le plus fort courant secondaire du circuit de la protection, conformément au tableau 1, devient l'enroulement de base, auquel on affecte sans intermédiaire la bobine de travail du relais.

Tabelul 2.Calculul numărului necesar de spire ale înfăşurărilor de lucru şi de egalizare I şi II

Tableau 2.Calcul du nombre nécessaire de spires des enroulements de travail et d'égalisation I ,II

Grandeur	Formule de calcul
Courant secondaire de mise en marche du relais	$i_{pr} = \frac{I_{pp} \frac{U_{nf}}{U_{nb}}}{n_b}$ (13)
Nombre nécessaire de spires de l'enroulement de travail du relais	$w_{\ln} = \frac{(wI)_I}{i_{pr}}$ (14)
Nombre choisi de spires de l'enroulement de travail du relais	$w_{la} \le w_{\ln}$ (15)
Courant réel de mise en marche du relais, pour l'enroulement de travail	$i'_{pr} = \frac{(wI)_I}{w_{la}}$ (16)
Nombre nécessaire de spires de l'enroulement d'égalisation II,afférent au niveau de haute tension	$w_{eIIn} = w_{la} \frac{i_b}{i_{II}}$ (17)
Nombre choisi de spires de l'enroulement d'égalisation II du relais,afférent au niveau de haute tension	$w_{eIIa} \le w_{eIIn}$ (18)
Nombre nécessaire de spires de l'enroulement d'égalisation I,afférent au niveau de moyenne tension	$w_{eIn} = w_{la} \frac{i_b}{i_I}$ (19)
Nombre choisi de spires de l'enroulement d'égalisation I du relais,afférent au niveau de moyenne tension	$w_{eIa} \le w_{eIn}$ (20)

unde :

U_{nf} - tensiunea nominală a înfăşurării transformatorului căreia îi este aferentă înfăşurarea de frânare şi pentru care s-a calculat I_{pp} ;

U_{nb} - tensiunea nominală a infăşurării de bază;

ou:

U_{nf} - tension nominale de l'enroulement du transformateur auquel est affecté l'enroulement de freinage et pour laquelle a été calculé I_{pp} ;

U_{nb} - tension nominale de l'enroulement de base;

n_b - raportul de transformare al transformatoarelor de curent de pe înfăşurarea de bază; în cazul în care acestea sunt legate în triunghi, $\frac{n_b}{\sqrt{3}}$;

i_b - curentul secundar de bază ;

i_I - curentul secundar prin înfăşurarea de egalizare I;

i_{II} - curentul secundar prin înfăşurarea de egalizare II.

2.3. Determinarea numărului de spire ale infăşurării de frânare

Se calculează curenţii pentru scurtcircuitul exterior cel mai defavorabil,adică pentru cazul în care scurtcircuitul este pe o altă înfăşurare decât cea căreia îi este aferentă înfăşurarea de frânare a releului,cu surse minime pe această înfăşurare şi maxime pe celelalte [3]. Calculul se efectuează conform tabelului 3.

n_b - rapport de transformation des transformateurs de courant de l'enroulement de base ;dans le cas quand ceux-ci sont connectés en triangle, $\frac{n_b}{\sqrt{3}}$;

i_b - courant secondaire de base;

i_I - courant secondaire dans l'enroulement d'égalisation I;

i_{II} - courant secondaire dans l'enroulement d'égalisation II.

2.3. Calcul du nombre de spires de l'enroulement de freinage

On calcule les courants de court-circuit pour le court-circuit extérieur le plus défavorable,donc pour le cas quand celui-ci se produit dans un autre enroulement que celui qu'on affecte l'enroulement de freinage du relais,avec des sources minimales sur celui-ci et maximales sur les autres [3]. Le calcul s'effectue conformément au tableau 3.

Tabelul 3.Calculul numărului de spire ale înfăşurării de frânare

Tableau 3.Calcul du nombre de spires de l'enroulement de freinage

Grandeur	Formule de calcul
Courant primaire de déséquilibre(calculé en tenant compte de l'impossibilité de la fixation exacte à la valeur nécessaire du nombre de spires des enroulements d'égalisation)	$I_d = k_{ap} f_i (I_{scI} + I_{scII} + I_{scIII}) + \Delta U_\alpha I_{\alpha sc\max} + \Delta U_\beta I_{\beta sc\max} + \frac{w_{eIn} - w_{eIa}}{w_{eIn}} I_{sceI} + \frac{w_{eIIn} - w_{eIIa}}{w_{eIIn}} I_{sceII}$ (21)
Nombre nécessaire de spires de l'enroulement de freinage du relais	$w_f \geq \frac{k I_d w_{eIa}}{I_{scf} tg\alpha}$ (22)
Nombre choisi de spires de l'enroulement de freinage du relais	$w_{fa} > w_f$ (23)

unde :

$I_{scI}, I_{scII}, I_{scIII}$ - curenţii de scurtcircuit în condiţiile specificate mai sus, raportaţi la tensiunea înfăşurării transformatorului căreia îi este aferentă înfăşurarea de frânare a releului;

I_{sceI}, I_{cseII} - curenţii de scurtcircuit corespunzători înfăşurărilor cărora le sunt aferente înfăşurările de egalizare I, respectiv II;

$I_{\alpha sc\max}$, $I_{\beta sc\max}$ - curenţii de scurtcircuit corespunzători înfăşurărilor cu comutator de reglaj al tensiunii;

I_{scf} - curentul de scurtcircuit în înfăşurarea căreia îi este aferentă înfăşurarea de frânare;

k - coeficient de siguranţă ($k = 1{,}5$);

tg α - panta unei drepte care trece prin origine şi este tangentă la cea mai defavorabilă curbă din familia de caracteristici din figura 1(cea inferioară,corespunzătoare defazajului de 90°).

Se recomandă totuşi ca determinarea numărului de spire ale înfăşurării de frânare să se facă grafic,calculul analitic ducând la un număr de spire exagerat de mare al acesteia. Determinarea grafică se face calculându-se $kI_d w_{eIn}$, luându-se valoarea respectivă pe ordonata caracteristicii de frânare a releului rezultă pe abscisă valoarea lui $I_{scf} w_f$. Din aceasta cunoscând I_{scf} rezultă w_f .

ou:

$I_{scI}, I_{scII}, I_{scIII}$ - courants de court-circuit dans les conditions spécifiées au-dessus,rapportés à la tension du transforma-teur à laquelle est destiné l'enroulement de freinage du relais;

I_{sceI}, I_{cseII} - courants de court-circuit correspondants aux enroulements auxquels sont destinés les enroulements d'égalisation I, respectivement II;

$I_{\alpha sc\max}, I_{\beta sc\max}$ - courants de court-circuit correspondants aux enroulements à commutateur de réglage de la tension;

I_{scf} - courant de court-circuit dans l'enroulement auquel est destiné l'enroulement de freinage;

k - coéfficient de sûreté ($k = 1{,}5$) ;

tg α - pente d'une droite qui passe par l'origine et est tangente à la plus défavorable courbe de la famille de caractéristiques de la figure 1 (celle inférieure, correspondante au déphasage de 90°).

On recommande pourtant que le calcul du nombre de spires de l'enroulement de freinage soit fait graphiquement, le calcul analytique en conduisant à un nombre exagéré de spires de celui-ci.Le calcul graphique est fait en calculant $kI_d w_{eIn}$, puis on prend la valeur respective sur l'ordonnée de la caractéristique de freinage du relais, résulte sur l'abscisse la valeur de $I_{scf} w_f$. En connaissant I_{scf} résulte w_f .

2.4. Verificarea sensibilităţii protecţiei reglate

2.4.1. Cazul lipsei frânării

Se calculează curenţii de scurtcircuit minim, pentru cazul scurtcircuitelor la bornele fiecăreia din cele trei înfăşurări, în condiţiile în care înfăşurarea căreia îi este aferentă înfăşurarea de frânare este deconectată,iar dintre sursele

2.4. Vérification de la sensibilité de la protection réglée

2.4.1. Cas de l'absence du freinage

On calcule les courants de court-circuit minimum,pour le cas des court-circuits aux bornes de chacun des trois enroulements,quand l'enroulement auquel est destiné l'enroulement de freinage est déconnecté, mais d'entre les sources connectées

legate la celelalte două înfăşurări,cea mai puternică este deconectată, iar cealaltă în regimul minim real posibil. Aceşti curenţi de scurtcircuit minim au câte un curent corespondent în circuitele secundare şi în releu,rezultând o solenaţie de lucru în înfăşurarea de lucru şi eventual în una din înfăşurările de egalizare.Solenaţiile de lucru din toate aceste înfăşurări de lucru se adună,rezultând o valoare $(wI)_{l\min}$ la $I_{sc\min}$. Condiţia de sensibilitate este:

$$K = \frac{(wI)_{l\min}}{(wI)_l} \geq 2 \qquad (24)$$

unde: K - coeficientul de sensibilitate;

$(wI)_l$ - valoarea minimă de lucru a releului,în absenţa frânării, egală pentru acest tip de releu cu 60 A*sp.

2.4.2. Cazul prezenţei frânării

Este necesar să se calculeze regimul de scurtcircuit cel mai defavorabil,în care frânarea să fie maximă şi curentul în bobina de lucru minim. Pentru aceasta se calculează de obicei curenţii de scurtcircuit metalic la bornele fiecăreia din cele două înfăşurări ale transformatorului,cărora nu le este aferentă bobina de frânare a releului,în condiţiile în care la bornele înfăşurării transformatorului căreia îi este aferentă înfăşurarea de frânare a releului este conectată o putere minimă, iar celelalte înfăşurări au întreruptoarele deschise. Pentru cazurile alese se calculează curenţii de scurtcircuit trifazat,bifazat sau monofazat,rezultând curenţii secundari respectivi şi solenaţiile de lucru şi de frânare ale releului [4].

Se plasează pentru fiecare caz de scurtcircuit, solenaţia de lucru şi de frânare în planul $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$, unindu-se aceste puncte cu originea se obţin drepte care constituie locul geometric al punctului de funcţionare al releului, când curentul de scurtcircuit scade prin transformarea scurtcircuitului metalic în scurtcircuit prin arc cu rezistenţă. Cu cât rezistenţa arcului creşte, cu atât punctul de funcţionare se deplasează spre origine dupa cum se vede în figura 2.

aux autres deux enroulements,la plus forte est déconnecté,et l'autre dans le régime minimal réel possible. Ces courants de court-circuit minimum ont chacun d'eux un courant correspondant dans les circuits secondaires et relais, en résultant une solénation de travail dans l'enroulement de travail et éventuellement dans l'un des enroulements d'égalisation.Les solénations de travail de tous ces enroulements de travail s'additionnent, en résultant une valeur $(wI)_{l\min}$ à $I_{sc\min}$.La condition de sensibilité est :

$$K = \frac{(wI)_{l\min}}{(wI)_l} \geq 2 \qquad (24)$$

ou : K - coéfficient de sensibilité ;

$(wI)_l$ - valeur minimale de travail du relais,à l'absence du freinage, égale pour ce type de relais avec 60A*sp.

2.4.2. Cas de la présence du freinage

Il est nécessaire qu'on calcule le régime de court-circuit le plus défavorable,quand le freinage est maximum et le courant dans la bobine de travail est minimum. Dans ce sens on calcule d'habitude les courants de court- circuit métallique aux bornes de chacun de deux enroulements du transformateur,auxquels n'est pas destiné l'enroulement de freinage du relais,quand aux bornes de l'enroulement du transformateur auquel est destiné l'enroulement de freinage du relais est connectée Une puissance minimale,mais les autres enroulements ont les disjoncteurs ouverts.Pour les cas choisis on calcule les courants de court-circuit triphasé, biphasé ou monophasé, en résultant les courants secondaires respectifs et les soléna-tions de travail et de freinage du relais [4].

On place pour chaque cas de court-circuit,les solénations de travail et de freinage dans le plan $(Iw)_l = f[(Iw)_f]$, en unisant ces points avec l'origine on obtient des droites qui constituent le lieu géométrique du point de fonctionnement du relais,quand le courant de court-circuit baisse par la transformation du court-circui métallique en court-circuit par arc à résistance.

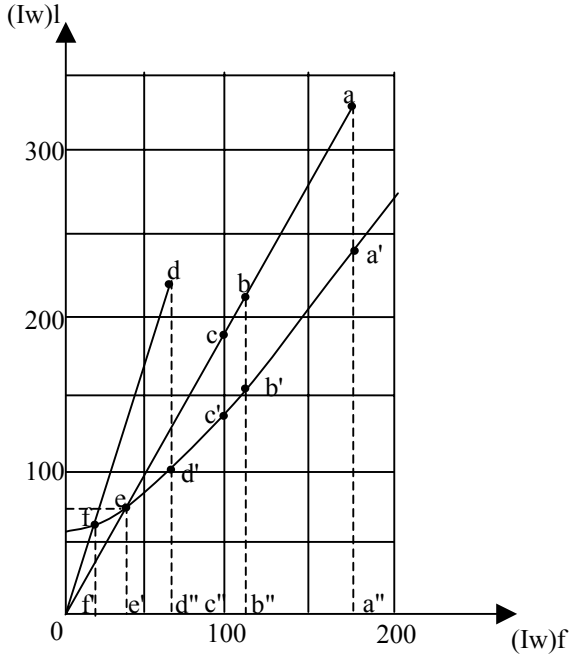

Fig.2 .Condiţiile de sensibilitate impuse protecţiei în regimurile minimale de funcţionare (cazul existenţei frânării)

Fig.2. Conditions de sensibilité imposées à la protection dans les régimes minimaux de fonctionnement(le cas d'existence du freinage)

Condiţiile ce se pun din punctul de vedere al sensibilităţii protecţiei sunt următoarele:

$$\frac{\overline{aa}'}{\overline{aa}''} \geq 0{,}1\ ;\ \frac{\overline{bb}'}{\overline{bb}''} \geq 0{,}1\ ;\ \frac{\overline{cc}'}{\overline{cc}''} \geq 0{,}1\ ;\ \frac{\overline{dd}'}{\overline{dd}''} \geq 0{,}1 \qquad (25)$$

$$\frac{\overline{aa}''}{\overline{ee}'} \geq 2\ ;\ \frac{\overline{bb}''}{\overline{ee}'} \geq 2\ ;\ \frac{\overline{cc}''}{\overline{ee}'} \geq 2\ ;\ \frac{\overline{dd}''}{\overline{ff}''} \geq 2$$

Se precizează că ,calculându-se sensibilitatea la scurtcircuite interne,condiţiile cele mai defavorabile sunt acelea când frânarea este maximă.Deci la verificarea condiţiilor (25), (26) se va folosi caracteristica de frânare a releului cu panta cea mai mare,adică cea corespunzătoare defazajului nul între curenţii din bobinele de lucru şi de frânare.

3. Exemplu şi program de calcul

Pe baza algoritmului de calcul prezentat,s-a întocmit un program de calcul dezvoltat în limbajul de programare Visual C++ 6.0,care permite determinarea şi afişarea principalilor parametri de calcul ai protecţiei diferenţiale a unui transformator coborâtor de tensiune $U_1/U_2/U_3$=230/121/11 kV, cu o putere nominală S_n=240 MVA,cu reactanţele inductive procentuale X_{IT-MT}=23%,X_{MT-JT}=8%,X_{IT-JT}=15%. Transformatorul are reglaj de tensiune sub sarcină pe partea de 110 kV,între ±10%.Pe partea de 10 kVeste montat un compensator sincron de 75 Mvar,cu reactanţa supratranzitorie X''_d=0,24.Puterea echivalentă de scurtcircuit pe barele de 220 kV ale transformatorului,în regim maxim este $S_{scIT_{reg.\max}}$ = 7000 MVA iar pe barele de 110 kV, $S_{scMT_{reg.\max}}$ = 3500 MVA. În regim minim puterile respective sunt: $S_{scIT_{reg.\min}}$ = 3500 MVA şi $S_{scMT_{reg.\min}}$ =1750 MVA.

Autorii au elaborat şi un manual de utilizare a acestui pro-gram, care conţine o prezentare generală a aplicaţiei şi succesiunea de încărcare a interfeţelor în care sunt evidenţiate spaţii pentru introducerea de mărimi de intrare şi butoane ce permit calculul mărimilor necunoscute.

Plus la résistance de l'arc croît, plus le point de fonctionnement se deplace vers l'origine comment on peut voir dans la figure 2. Les conditions imposées du point de vue de la sensibilité de la protection sont les suivantes :

$$\frac{\overline{aa}'}{\overline{aa}''} \geq 0{,}1\ ;\ \frac{\overline{bb}'}{\overline{bb}''} \geq 0{,}1\ ;\ \frac{\overline{cc}'}{\overline{cc}''} \geq 0{,}1\ ;\ \frac{\overline{dd}'}{\overline{dd}''} \geq 0{,}1 \qquad (25)$$

$$\frac{\overline{aa}''}{\overline{ee}'} \geq 2\ ;\ \frac{\overline{bb}''}{\overline{ee}'} \geq 2\ ;\ \frac{\overline{cc}''}{\overline{ee}'} \geq 2\ ;\ \frac{\overline{dd}''}{\overline{ff}''} \geq 2 \qquad (26)$$

On précise que,en calculant la sensibilité aux court-circuits internes,les conditions les plus défavorables sont quand le freinage est maximum. Donc à la vérification des conditions (25),(26) on utilisera la caractéristique de freinage du relais avec la pente la plus grande,donc celle qui correspond au déphasage nul entre les courants de bobines de travail et de freinage.

3. Exemple et programme de calcul

Sur la base de l'algorithme de calcul présenté,a été réalisé un programme de calcul développé dans le langage de programmation Visual C++ 6.0, qui permet le calcul et l'affichage des principaux paramètres de calcul de la protection différentielle d'un transformateur abaisseur de tension $U_1/U_2/U_3$=230/121/11 kV , avec une puissance nominale S_n = 240 MVA, les réactances inductives en pour-cent X_{IT-MT} = 23%, X_{MT-JT} = 8%, X_{IT-JT} = 15%. Le transformateur a réglage de tension sous charge sur le niveau de 110 kV, entre ±10%. Sur le niveau de 10 kV est monté un compensateur syncron de 75 Mvar, avec la réactance sur transitoire X''_d = 0,24. La puissance équivalente de court-circuit sur les bares de 220 kV du transformateur, en régime maximum est $S_{scIT_{reg.\max}}$ = 7000 MVA et sur celles de 110 kV, $S_{scMT_{reg.\max}}$ =3500 MVA. En régime minimum les puissances sont: $S_{scIT_{reg.\min}}$ = 3500 MVA, $S_{scMT_{reg.\min}}$ = 1750 MVA.

Les auteurs ont élaboré aussi un manuel d'utilisation de ce programme,qui contient une présentation générale de l'application et la succesion de chargement des interfaces qui relèvent des espaces pour l'introduction des paramètres initiaux et des boutons de commande qui permettent le calcul des grandeurs inconnues.

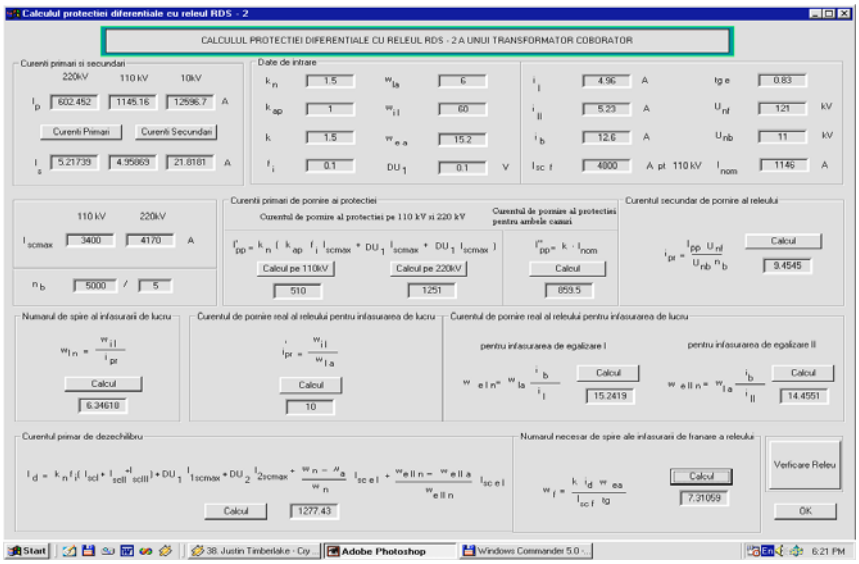
Calculul protectiei diferentiale cu releul RDS - 2
CALCULUL PROTECTIEI DIFERENTIALE CU RELEUL RDS - 2 A UNUI TRANSFORMATOR COBORATOR
Curenti primari si secundari
Date de intrare
Curenti Primari
Curenti Secundari
Curentii primari de pornire ai protectiei
Curentul de pornire al protectiei pe 110 kV si 220 kV
Curentul de pornire al protectiei pentru ambele cazuri
Curentul secundar de pornire al releului
Calcul pe 110kV
Calcul pe 220kV
Numarul de spire al infasurarii de lucru
Curentul de pornire real al releului pentru infasurarea de lucru
Curentul de pornire real al releului pentru infasurarea de lucru
pentru infasurarea de egalizare I
pentru infasurarea de egalizare II
Curentul primar de dezechilibru
Numarul necesar de spire ale infasurarii de franare a releului
Verificare Releu
OK
Start
Adobe Photoshop
Windows Commander 5.0 -

Fig.3.Interfaţa principală corespunzătoare exemplului de calcul

Fig.3. Interface principale correspondante à l'exemple de calcul

4. Concluzii

În urma calculelor efectuate se constată că în toate cazurile de defecte interne examinate, în prezenţa frânării, protecţia realizată cu releul RDS-2 are suficientă sensibilitate.

4. Conclusions

A la suite des calculs effectués on constate que dans tous les cas de défauts internes examinés,en présence du freinage, la protection réalisée avec le relais RDS-2 a sensibilité suffisante.

Bibliografie (Bibliographie)

1. Badea, I., ş.a.: *Exploatarea instalaţiilor de protecţie şi auto-matizare ale sistemelor electrice (Exploitation des installations de protection et d'automatisation des systèmes électriques),* Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.
2. Comşa, D., ş.a. : *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale. (Calcul des installations électriques industrielles),* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
3. ****Rapport environnemental,* Electrabel-Production Département Environnement et Communication, Bruxelles, 1997.
4. Lams, J.L.: *Le rôle du secteur électrique,* Electrabel-Production, Octobre 2002, Bruxelles.